

マルテンサイトの生成量をひずみの関数としてもう少し一般性のある形で数式化する必要がある事を指摘した。この種の式は塑性加工などの多軸変形の解析のための構造方程式として有用であろう。

野原清彦 (川崎製鉄技研) [討15]は準安定オーステナイトステンレス鋼を引張変形の途中でその温度を変化させると一層大きな伸びを得ることができること、たとえば 80°C で 60% 引張変形を与えて 20°C で再度引張ると 120% 以上の大きな伸びを得ることができる。また温度とひずみ速度を適当にすると N または C による動的ひずみ時効と TRIP 現象が同時におこつて、一定温度の引張でも 120% に及ぶ伸びを得ることができる。また結晶粒径を加味した ANGEL の式の修正式を提案し、この式で示される $\text{Md}_{90}^{\text{GS}}$ とコンカルカップ値とがよい対応を示すことを示し、Cu 添加ステンレス鋼が良好な深しぼり性をもつことを示した。

これに対し小林勝 (日立製作所生産研) は野原の 2, 3 のデータにおけるひずみ速度などについての不明確部分を確認したあと、2 段引張変形においては第 1 段引張では Md 点直上の温度でくびれの生じない範囲でできるだけ大きな伸びを与えておくと、第 2 段引張の最終全伸びは最も大きいという小林自身の過大のデータを紹介した。また一般に塑性加工では応力状態によつて成形性が違うので、変形状態図 (成形限界線図) を用いて考へるとよいこと、塑性加工においては加工硬化特性がきわめて重要であり、不安定限界直上でマルテンサイトを発生させてある程度の大きさの加工硬化を保持させることが成形性を向上させるために最も効果的であることなどのコメントをした。また田村 (座長) は冷却しながら引張試験をしてもよく伸びることを指摘した。

加藤義雄 (豊田中研) [討16]は Be を含有する 25% Ni マルエージ鋼 ($\text{Fe-25Ni-9Co5Mo-0.6Be-0.3Ti-0.3Al}$) の加工熱処理と強度・靱性の関係を述べた。すなわち溶体化後サブゼロしてマルテンサイトにした後時効したもの、サブゼロマルテンサイトを加工して時効したものおよび加工によつてマルテンサイトを生成し時効したものについて引張試験、遅れ破壊試験などを行った。その結果、加工誘起変態を行ったものが硬さ、強さ、靱性 (遅れ破壊特性) が最も優れており、引張強さは 370 kg/mm^2 に達した事を示した。

これに対し山田凱郎 (神戸製鋼中研) は加藤らの行った研究ではスエーピング加工を行っているので、繊維組織などによる異方性を生じ、そのため長さ方向にとつた試片の遅れ破壊性が優れて現われているのではないかと考へられる旨、種々な他の鋼によるデータを示して述べた。特に加工によつて変態するときはマルテンサイトの生成方向が並ぶ傾向が強いことが考えられる。また河部義邦 (金材技研) は遅れ破壊特性に対する α' 相残留 γ 相、 γ - α' 相界面の役割、加工誘起変態マルテンサイトの下部組織などについて確認した後、加工誘起変態後の時効によつて最高硬さ Hv 790 で引張強さ 370 kg/mm^2 を得ているが、この硬さに対してこの強さは値として大きすぎる。また 95% 加工による加工誘起変態後の時効で 280 kg/mm^2 というデータを示しているが、 370 kg/mm^2 の強さとの関連はどうなっているのかなどの質問を行った。田村 (座長) はこの 370 kg/mm^2 という高

い強度と Be の役割について質した。次に佐賀二郎 (大阪大学基礎工) は割れの発生とマルテンサイトの生成の関連性についても尋ねた。この研究は参加者の関心を集めた様子であるのでもう少し掘り上げた研究が待たれる。

以上要するに、この討論会ではマルテンサイト変態が加工によつて誘発される場合の応力、ひずみの寄与についての基本的な研究、加工硬化、TRIP 現象とそれらを応用した成形性、TRIP 鋼などの重要問題について討論された。そしてなおこの分野で多くの問題が残されていることが指摘され、理論的にも実用的にもきわめて重要な分野であるので今後一層の突込んだ研究が必要であることが痛感された。

V. 鋼材溶接熱影響部 (HAZ) の材質劣化の諸問題

新日本製鉄 (株) 製品技術研究所

座 長 金沢 正午

鋼構造物への溶接の適用は今日では極めて一般的なものになつてきたが、溶接熱影響部 (HAZ) は種々の熱サイクルや応力サイクルを受け母材にくらべて著しく材質が劣化する場合がある。例えば、結晶粒粗大化などによるじん性劣化、応力除去焼鈍 (SR) によるじん性劣化およびわれ、応力腐食われ、腐食疲労などで構造物の安全性の観点から問題を残している。

今回の討論会はこのような背景から下記の 4 編が報告され活発な討論が行なわれた。

討17) 溶接熱影響部におけるオーステナイト結晶粒粗大化の定量的検討

大阪大学・工学部 井川 博, ○大重広明

討18) 溶接熱影響部の靱性に及ぼす島状マルテンサイトの影響

神戸製鋼所鋼板開発部

笠松 裕, ○細谷隆司, 高嶋修嗣

討19) 溶接熱影響部の応力除去焼鈍後のぜい化について

新日本製鉄製品技術研究所

金沢正午, 山戸一成

芝崎 誠, ○武田鉄治郎

討20) ラインパイプ用 Nb 含有鋼板溶接熱影響部の靱性

川崎製鉄技術研究所

○志賀千晃, 波戸村太根生

志賀 厚, 鎌田晃郎, 大橋延夫

討17) この報告は、HAZ のじん性劣化に影響を及ぼす因子の一つである結晶粒の粗大化について基礎的な検討を行なつたものである。前段階として恒温加熱したときの結晶粒成長の式を導出し、これから熱サイクル中の結晶粒成長式を誘導し実験的に妥当性を確認した。次いで HAZ における粗大粒成長に対して前段階で得られた式の適用性を検討しその適用が可能であるとし、さらに前段階で得られた式と熱伝導式とを組み合わせて行なつた粒径の計算値と実測値が一致することを確かめ、入熱量と粒径の関係式を導いた。最後に応用例として電子ビー

ム溶接につき、粒径の計算値と実測値が一致することを確かめたうえ、HT100のHAZのじん性改善のため最大粒径を0.05mm以下にするための溶接条件を明らかにした。

この報告は、最初の式が全体の基本になっているのでこの式に関する討論が多かった。

最初の基本式のaの値はTi, Nb等を添加した場合に変化すると同時に、C・Nの量によっても変化する。またQについても同様であると意見が出された。これに対し析出物が固溶するか否かにより異なり、固溶するときには単純になるが、固溶しないときは析出物の分析を把握しなければならないのでむづかしいと説明があつた。その他この式に対して、前組織の影響、多重サイクルを受ける実継手への適用、二次元を取扱うこの式の三次元への適用、鋼種が異なるときのQの値等について質問があつた。これに対し、前組織の影響は実用的な範囲では殆んどない、特に粗大粒域ではその影響はない、多重サイクルを受けたときについてはピーク温度が1100°C以下のときには別に考えねばならない、三次元の場合には入熱量と最大粒径は別の関係になるが、基本的には二次元と同じである。また鋼種が変わったときのQの値は特に細粒化しない実用材については同じであり式の適用は可能である等の説明があつた。

討18) この報告は高強力鋼を大入熱溶接するとHAZのじん性が著しく劣化するが、その原因について検討したものである。市販の各種高張力鋼のHAZのじん性に及ぼす入熱量、 γ 粒径、組織、島状マルテンサイトの影響を再現熱サイクル材を用いて調べた。入熱量と vT_{rs} の関係は、HT50は入熱により殆んど不変であるが、それ以外の鋼は入熱が増大するにつれて vT_{rs} は上昇することを示した。一方 γ 粒径は鋼種に関係なく増大し、 γ 粒径のみでじん性劣化を説明出来ないことを示した。組織との関係でマルテンサイト+下部ベイナイトから上部ベイナイトに変化するときの vT_{rs} の急激な上昇はHT50では認められないが他の鋼種では認められその原因は塊状組織(島状マルテンサイト)による、即ち島状マルテンサイトはHT50では入熱を変えても殆んど変化せず少量であるが、その他の鋼では多量に生成するからであるとした。最後に低C化したHT60のじん性を調べ、入熱量を変えても島状マルテンサイトは少なくじん性の劣化も認められないことを示した。

この報告に対し、島状マルテンサイトに関する討論が多く、測定法及びその他の組織との区別法、冷却速度依存性及び冷速小になったときの島状マルテンサイト自体の変化などの質問がされた。これに対し、区別法はセメントタイトの分布・大きさで他組織との区別をした。また冷速依存性については、フェライトが出る冷却速度になると島状マルテンサイトはそれ自体が変化してくること、また島状マルテンサイトの分類については何を基準にするか検討中であるなどの説明があつた。その他、ラス幅のじん性に対する影響、島状マルテンサイトの減少法、HT50の vT_{rs} が冷速に依存しない理由などについて質問があつた。これに対し、ラス幅は島状マルテンサイトに比べ小であること、島状マルテンサイトの害の防止法は低C化によるしかない。また、HT50の vT_{rs} が不変であるのは熱サイクルであるからで、実継手では

大入熱になると溶接金属のじん性劣化などが入るためじん性は劣化すると説明があつた。

討19) これは、HAZ部の応力除去焼鈍(SR)後のじん性の劣化(SRぜい化)に関するもので、SRぜい化への応力の影響をHT60, 80の各種熱サイクル材について調査したものである。 vT_{rs} に対する影響は各種条件によつて異なっているが、特にHT80の低入熱相当の熱サイクル材ではぜい化が大きく促進されることを示し、そのときの衝撃試験片の破面状況は vT_{rs} が高くなる程粒界破面率は増加すること、さらにオージェ分析の結果 vT_{rs} とPの偏析度との対応性は必ずしもよくなく粒界破壊するSRぜい化の機構は粒界偏析だけでないとし析出物の観察結果から、粒界上の Fe_3C を主体とする析出物が粒界破壊を支配する大きな因子であるとした。次いで、SRによる継手部の残留応力の低下は母材の応力緩和特性が支配し、その合金元素の影響を明らかにした。最後に、SRぜい化材のじん性評価をCODで行ない衝撃試験との比較をした。衝撃試験でへき開破壊するものはCODも同一傾向のぜい化を示すが、粒界破壊するぜい化材はCODでは衝撃試験から予想される大きなぜい化は認められず、歪速度依存性が大きいことを示し破壊じん性の評価には試験法の選択に配慮が必要であるとした。

この報告に対し、HT80の低入熱の場合にはSR後の破面が粒界破面を示したことから、粒界偏析に関連して次のような意見があつた。Pの粒界偏析が高い場合にはSRわれ感受性が高くなるのではないかと、オージェ分析のビーム径は大きい方がより正確な平均値を示すのではないかと。また、この報告は単一熱サイクル材を扱ったものであるが、実際の継手の場合のように多層盛では、例えばHT60はパスよりも vT_{rs} が低くなる場合もあるが、他鋼種では vT_{rs} は低下あるいは上昇する場合もあり複雑であるというコメントがあつた。この点に関しては、HT80ではSRによりじん性は種々変化するので継手のSR後のじん性が劣化するか向上するか一概には言えないようである。その他、SRぜい化材をCODで評価する意義、衝撃試験との相関に関する質問があつた。これらに対し、特に粒界破壊するときにはCODによる評価は衝撃試験の評価よりじん性が良好になるが、その構造物を受けるであろう荷重速度でじん性を評価すべきであるという説明がなされた。

討20) これは、ラインパイプ材のHAZ部のじん性を熱サイクル附与材を用いて調べたものである。まず、各種熱サイクルとじん性の関係について、熱サイクルのピーク温度で高じん性および低じん性領域を四つに分類出来ることを示した。このうち、じん性が著しく劣化する最高加熱温度が700~800°Cの領域では、W, Nb-Vb-Mo系の両鋼とも、じん性劣化の主因は冷却過程に生ずるマルテンサイト・オーステナイトの混合物が生成するためであるとした。また、内外面の溶接を想定して二重熱サイクルの影響を調べ、はじめ粗粒化した部分は次の熱サイクルによつてもじん性の改善は困難であるとし、粒界にNb(C, N)の析出およびマルテンサイト・オーステナイト混合物が生成するためであるとした。最後に、合金元素の影響はVよりもNbの方がじん性支配度合が大で、実際継手の場合ボンド部の部位によつてじ

じん性に寄与する割合が異なってくる。Mn を増やすとベイナイトが生成し、あるいは二次サイクルを受けマルテンサイト・オーステナイト混合物が出ることによりじん性は大幅に低下することを示した。

この報告に対し、Nb-V 鋼で二重熱サイクルを受けた場合にじん性が劣化する理由、さらに、じん性に対するベイナイトの影響および A_{C_1} 直上のぜい化への Mn の影響に関する質問があつた。これに対し、再加熱することにより 600~1300°C の間で Nb が再析出するためにぜい化すること、Mn を増加した場合継手のじん性が劣化するのは粗大粒部がベイナイト化するためであると説明があり、さらに Mn は、鋼種によつて若干異なるが、 A_{C_1} ぜい化を促進すると説明された。さらに、母材のじん性が変化したときボンド部じん性の変化についての質問があり、母材じん性が向上するとボンド部じん性は向

上するとし、特に Mn が入ると組織変化を伴い影響は大きいと説明された。その他、Nb, V の SR 後のじん性に対する影響、単一サイクルと二重サイクルのちがいなどにつき質問があり、Nb 含有量が高いほど Nb の析出のため SR 後のじん性は劣化する、また二重サイクルによるじん性劣化は Nb 量によつて変り或る量以上の場合に劣化すると説明があつた。

以上、本討論会は 4 時間にわたり 4 編の論文について熱心に討論された。内容はじん性に関するものになつたが完全に議論し尽された訳ではない。また、HAZ には他にも興味ある問題点がありそれらについても別の機会に討論する必要がある。最後に、発表頂いた講演者ならびに討論者に感謝すると共に、最後まで熱心に聴講頂いた会員諸氏に深く御礼申し上げる次第である。